

ら37に掲げた。また記録から、撓み S_0 と現象時間 t_0 を読みとった値を表16に示す。

計器の検定は実験の都度行なった。12日の実験を除いては、電磁オシログラフの読みと実長との比は、大体 1 : 1 であった。

表16において、欄外の理論値と実験値を比較すれば明らかのように、現象時間、撓み、接岸力の実験値と理論値はほとんど一致している。それゆえ縦方向の衝撃においては、便宜的付加質量は無視してよいこと、また、バネ常数の小さい場合は水の抵抗があることが

わかる。

したがって、防舷材に対して、接線方向の速度を有して接岸する場合は、この(8)式による力と法線に直角な速度による接岸力に防舷材と舷側の間の摩擦係数を乗じた力が接線方向に働く力となる。

6. 実船測定について

10万 t 級船舶用ドルフィン柔軟な例として、川崎港沖で筆者が測定した。1964年12月21日霧島丸の接岸時の測定値について、本文の考察の結果を適用してみ

表 16

NO.	K=2288 gr/cm(1,12,1967)				NO.	K=1025gr/cm(1,19,1967)			
	U_0	Δ_0	t_0	S_0		U_0	Δ_0	t_0	S_0
45	2.30	1.83	1.28	0.796	66	2.07	2.53	1.90	1.221
46	2.31	1.79	1.30	0.777	67	2.08	2.45	1.88	1.177
47	1.90	1.42	1.29	0.745	68	1.84	2.11	1.91	1.148
49	3.02	2.43	1.25	0.804	69	2.88	3.51	1.92	1.218
50	2.33	1.88	1.21	0.808	70	2.93	3.53	1.92	1.204
51	3.65	2.93	1.30	0.803	71	2.91	3.39	1.90	1.165
52	3.80	3.10	1.30	0.793	72	3.46	4.13	1.91	1.193
53	3.16	2.51	1.31	0.795	73	3.77	4.54	1.92	1.204
			1.28	0.816	74	3.58	4.13	1.90	1.154
								1.92	1.220

NO.	K=593 gr/cm(1.13,1967)				NO.	K=26.0 gr/cm(1,17,1967)			
	U_0	Δ_0	t_0	S_0		U_0	Δ_0	t_0	S_0
26	1.97	2.56	2.36	1.300	36	2.07	4.39	3.47	2.121
27	2.00	2.64	2.39	1.320	37	2.15	4.69	3.52	2.180
28	2.27	3.11	2.53	1.372	38	1.86	3.81	3.57	2.048
29	2.89	3.99	2.50	1.389	39	2.78	5.95	3.57	2.141
30	2.76	4.33	2.49	1.570	40	2.88	6.09	3.50	2.151
31	3.01	4.59	2.47	1.515	41	2.78	6.01	3.62	2.161
32	4.16	6.14	2.50	1.476	42	3.96	8.03	3.57	2.030
33	4.12	6.04	2.52	1.465	43	4.13	8.22	3.57	1.993
34	3.95	6.04	2.50	1.529	44	3.67	7.71	3.49	2.101
			2.52	1.604				3.80	2.422

U_0 : 接岸速度 (cm/sec)
 Δ_0 : 受衝バネの撓み (cm)
 t_0 : 現象時間 (sec)
 S_0 : Δ_0/U_0 (sec)
 欄外の数値は理論値を示す

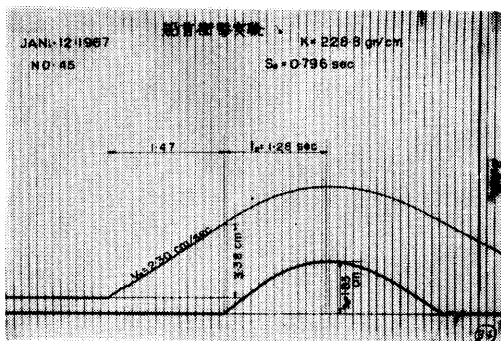


写真34

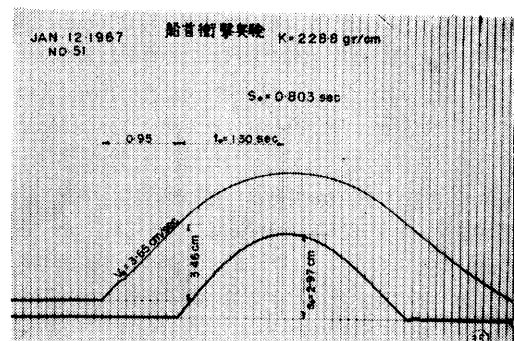


写真35

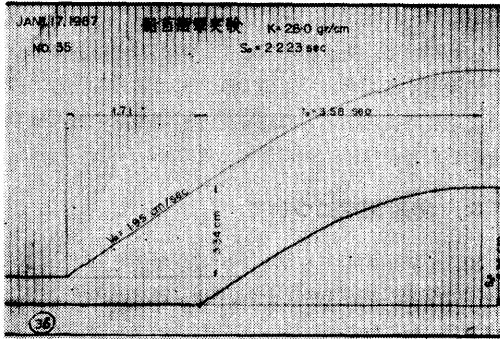


写真36

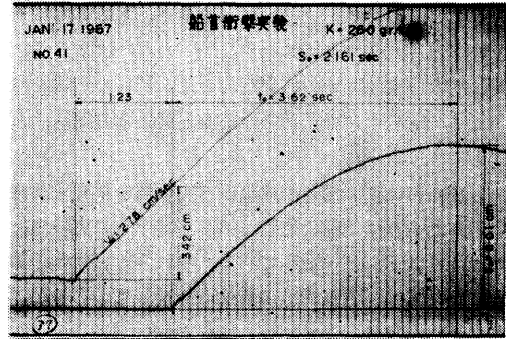


写真37

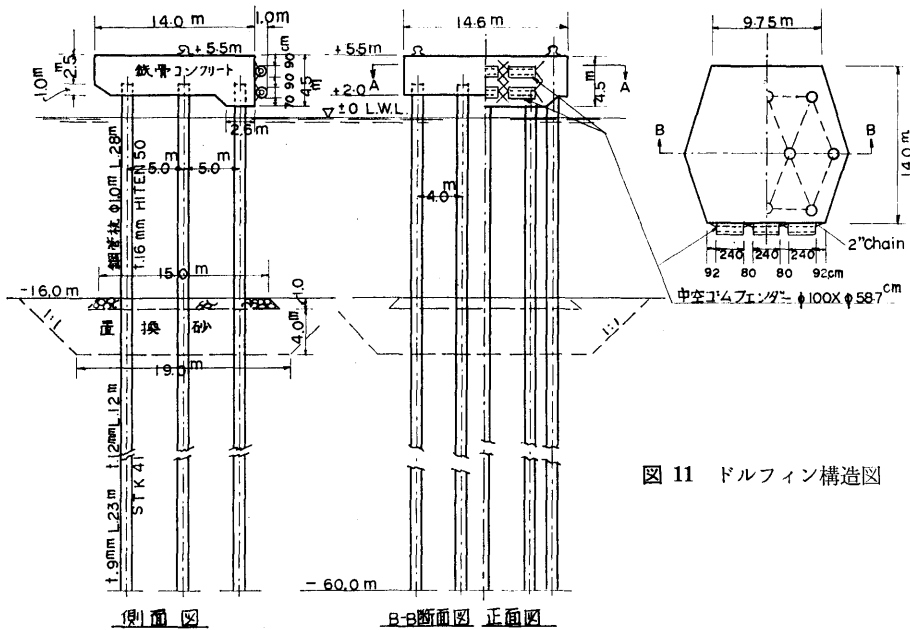


図 11 ドルフィン構造図

る。

6. 1 霧島丸接岸時の測定値

このドルフィンの構造は、パース水深16.0m、鋼管杭（直杭）HITEN 50、径1000mm、厚さ16mm、パース法線に対し直角方向に3列に、それぞれ3本、4本、3本の10本構成で、列間隔は5m、各杭間隔は4mである。杭頭部はH型鋼を取付けて剛結し、上下に配筋して、コンクリートを打設した。その天端高は+5.5m、下端は+1.0mである。その前面に、中空、筒型ゴムフェンダー、外径100cm、内径58.7cm、長2.4mのもの6本を、上下2段3本ずつ水平に鎖をもって吊り下げた。そのバネ常数（荷重特性）は672t/mである。（図11参照）

鋼管杭のバネ常数は未知であった。

接岸時の霧島丸は、排水トン数 $W=120,560$ ton、船の長さ $l=249.7$ m、船巾 $b=40.5$ m、きつ水 h は、船首で14.75m、船尾で14.82mであり、水深は17.0mであった。接岸速度、偏心距離などは表17の通りであった。

表 17 接岸状態

接岸の回数	船 首		船 尾	
	接岸速度 v_0	偏心距離 r	v_0	r
1回目	cm/sec 4.35	m 64.43	cm/sec 1.11	m 36.56
2回目	1.15	64.65	1.16	41.65
3回目	1.15	50.79	1.82	50.13

$$m = W/g = 12,300 \text{ [t.sec}^2/\text{m]}$$

$$\alpha = h^2/l/m \sqrt{gH} = 0.3562 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$I_z = m(l^2 + b^2)/12$$

$$= 12,300 \times 5,332.528 \text{ [t.m.sec}^2\text{]}$$

$$\beta = 1 + mr^2/I_z$$

表 18 β の値

接岸回数	船首 β	船尾 β
1 回目	1.7785	1.2508
2 回目	1.7838	1.3253
3 回目	1.4838	1.4713

β は表18の通りであるが、以下本文の計算においては、ほぼ平均値をとって、船首の $\beta=1.78$ 、船尾の $\beta=1.35$ とする。

次に撓みの実測値は、I.T.V. による写真(写真38)、オシログラフの記録(写真39)などによって、表19の値をうる。

この表によって、 $s_d/s_f \approx 4$ となる。この s_f は径100cm のゴムフェンダーの撓みで、その荷重特性は112 t/m である。6本使用されているので、 $K_f=672$ t/m となる。したがって、 $K_d=672/4=168$ t/m とな

る。

ドルフィン構造全体としてのバネ常数 K_0 は、

$$K_0 = \frac{K_f K_d}{K_f + K_d} = \frac{672 \times 168}{672 + 168} = 134.4 \text{ [t/m]}$$

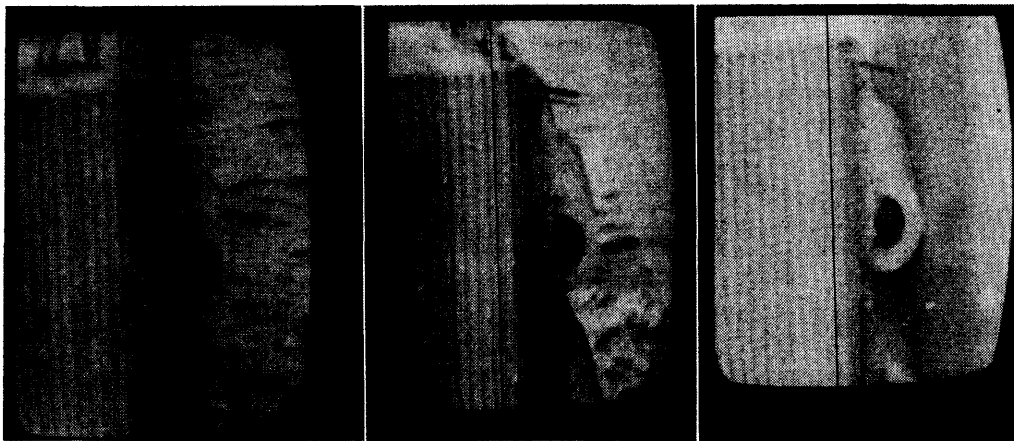
となる。

偏心距離 r は、接岸の都度、舷側に白墨で接触点の印をつけ、接岸操船が終ってから測定した。接岸速度 v_0 はオシログラフの記録(例えば写真39)によって測ったものである。

フェンダーの撓みは、岩国港において使用した撓み計³⁾をフェンダー上部に取り付けて測った。杭頭部の変位は、中央荷役棧橋上に据えたトランシット、I.T.V.および渡棧橋とドルフィン頭部の間に取り付けた板バネ(ストレンゲージ貼付)の歪を測定することによって測ったものである。

6.2 測定結果について

この実船についての測定の結果から、杭のバネ常数が、ゴムフェンダーのバネ常数の4分の1ということがわかる。したがってドルフィン全体としての k およ



黒線はテレビ画面に引かれた基準線
(ドルフィン頭部の20cm間隔の縞紋様) (船が接近している、図中右側) (接触、撓み最大)

写真38 I.T.V. による撓みの観測図

表 19 s_d, s_f の測定値

接岸回数	ドルフィン頭部の変位 s_d [cm]				ゴムフェンダーの撓み s_f [cm]			s_d/s_f	
	トランシット	オシロ	スケール	s_d	オシロ	スケール	s_f		
船首	1	18.0	19.5	19.7	19.5	4.8	3.8	4.8	4.07
	2	3.0	5.0	3.9	4.0	1.8	1.7	1.8	2.10
	3	3.0	1.0	0.6	3.0	—	1.7	1.7	1.76
船尾	1	8.0	—	—	8.0	1.9	8.7	1.9	4.21
	2	7.8	—	—	7.8	1.8	8.7	1.8	4.33
	3	10.8	4.0	10.8	10.8	3.05	10.8	3.05	3.55

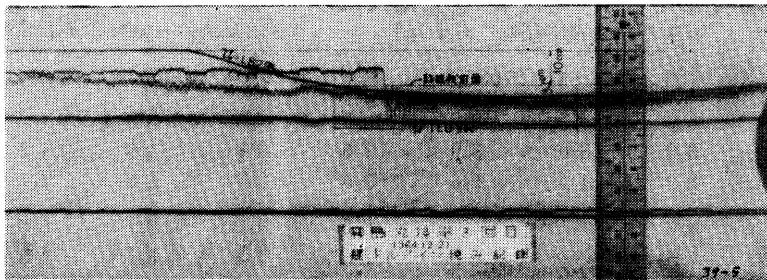
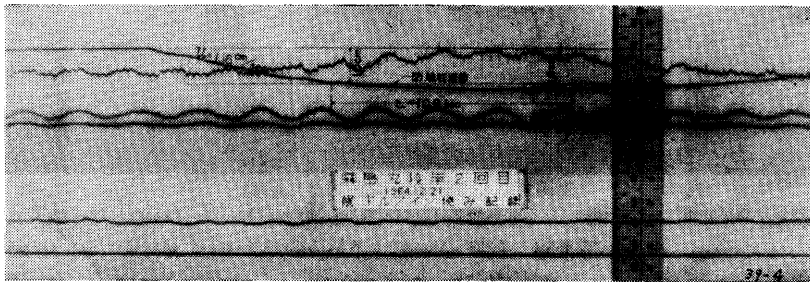
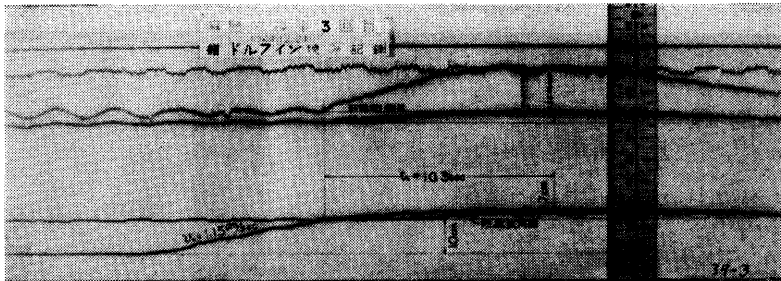
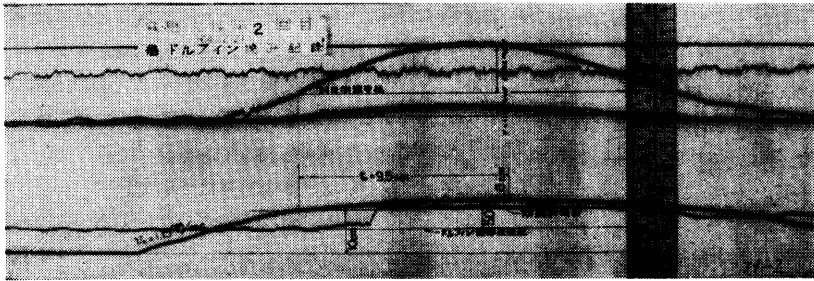
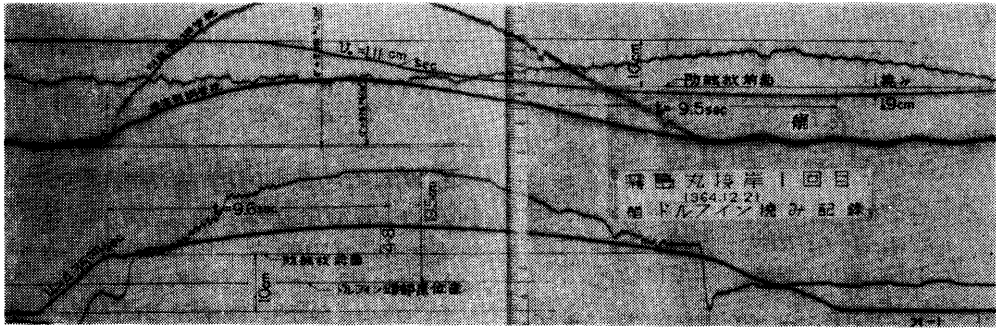


写真39

び βk を求めると、

$$k = k/m = 134.4/12300 = 0.0193 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

また船首では $\beta = 1.78$ 、船尾では $\beta = 1.35$ であるから、 β を k の中に含ませると、

$$\text{船首接岸時の } k = 0.01946 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

$$\text{船尾接岸時の } k = 0.01476 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

で、 $\alpha^2 - 4k$ の値は、

船首の場合

$$0.12688 - 4 \times 0.01946 = 0.04904 > 0$$

船尾の場合

$$0.12688 - 4 \times 0.01476 = 0.06784 > 0$$

となる。

この場合のように、ゴム防舷材の撓みが、杭頭撓みの4分の1であることは、構造物の強度が信頼できるものであるならば、防舷材のバネ常数をより小さくして、構造物を防護する防舷材の効用を發揮させなければならぬということである。

船は、非常に注意深く操縦され、ゴム防舷材と接触寸前に、一時停止に近い状態となり、おもむろに接岸した。そして、このように接岸速度が小さいにもかかわらず、現象時間は長く、船はフェンダーと接触した姿勢のまま停っているのかと思われるほどであった。以上のような状態についての測定結果に、2章の考察結果を適用してみる。

2.2 の (8) 式によって、

(i) 船首で接岸の場合は

$$k = 0.01946 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

$$\sqrt{k} = 0.1395 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$\therefore S_0 = 1/\sqrt{k} = 7.168 \text{ [sec]}$$

$$t_0 = \pi/2\sqrt{k} = 11.26 \text{ [sec]}$$

これに対する実測値は、

$$S_0 = (19.5 + 4.8)/4.35$$

$$= 5.6 < 7.168 \text{ [sec]}$$

$$t_0 = 9.6 < 11.26 \text{ [sec]}$$

$$n = \pi/2t_0 = 0.1635 > 0.1395 = \sqrt{k} \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

であるから、水圧は抵抗として働く状態であることが理解される。またその接岸状況は、前述のように、一旦停止してから、徐々に接触している状況であるから、2.3 の (11) 式の場合に該当する。 C_v を求めなければならないが、その値は状況によることは、しばしば述べたとうりである。この場合は、仮りに

$$C_v = \alpha/10 = 0.03562 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

として計算してみると、次の通りである。

$$C_v^2 - 4k = 0.03562^2 - 4 \times 0.01946 < 0$$

$$\zeta_- = 0.1384 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$2\zeta_-/C_v = 7.7681$$

$$\therefore t_0 = \zeta_-^{-1} \tan^{-1}(2\zeta_-/G_v) = 10.43 \text{ [sec]} \doteq 10$$

$$S_0 = \zeta_-^{-1} e^{\alpha_0/\sqrt{k}} = 5.9536 \doteq 5.6 \text{ [sec]}$$

$$S = 7.228e^{-0.01751t} \sin(7.09297t)$$

この式による計算表を表20に示す。

この計算値と実測値を比較したものが表22である。

(ii) 船尾で接岸の場合

前の(i)の場合同様に、

$$\sqrt{k} = \sqrt{0.01476} = 0.1215 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

$$S_0 = 1/0.1215 = 8.2305 \text{ [sec]}$$

$$t_0 = 3.1416/2 \times 0.1215 = 12.9284 \text{ [sec]}$$

$$\text{実測値の } S_0 = 9.9/1.11 = 8.92 \approx 8.23 \text{ [sec]}$$

表20 船首ドルフィン撓み計算表

I	II	III	III	V	VI	VII	VIII
t	$-\frac{\alpha}{2}t$	$e^{\frac{\alpha}{2}t}$	$7.9297t$	$\sin III$	$S = 7.228e^{-0.01751t}$	S_f	S_d
0	0	1.0000	0	0	0	0	0
1	0.01781	0.9823	7.9297	0.1380	0.9798	0.1960	0.7838
2	0.03562	0.9650	15.8594	0.2734	1.9070	0.3814	1.8256
3	0.05343	0.9499	23.7891	0.4033	2.7690	0.5538	2.2152
4	0.07124	0.9312	31.7188	0.5260	3.5404	0.7081	2.8323
5	0.08905	0.9148	39.6485	0.6381	4.2192	0.8438	3.3754
6	0.10686	0.8986	47.5782	0.7383	4.7953	0.9591	3.8362
7	0.12467	0.8828	55.5079	0.8241	5.2585	1.0517	4.2068
8	0.14248	0.8672	63.4376	0.8944	5.6062	1.1212	4.4850
9	0.16029	0.8519	71.3673	0.9476	5.8349	1.1670	4.6679
10	0.17810	0.8369	79.2970	0.9826	5.9439	1.1888	4.7511
10.43					5.9536	1.1907	4.7629
11	0.19591	0.8221	87.2267	0.9988	5.9350	1.1870	4.7480

表21 船尾ドルフィン撓み計算表

I	II	III	III	V	VI
t	$6.9614t$	$\sin II$	$S = 8.2305e^{-0.01476t}$	S_f	S_d
0	0	0	0	0	0
1	6.9614	0.1213	0.9984	0.1997	0.7987
2	13.9228	0.2405	1.9794	0.3959	1.5835
3	20.8842	0.3565	2.9342	0.5868	2.3474
4	27.8456	0.4672	3.8453	0.7691	3.0762
5	34.8070	0.5707	4.6971	0.9394	3.7577
6	41.7684	0.6661	5.4823	1.0965	4.3858
7	48.7298	0.7516	6.1860	1.2372	4.9488
8	55.6912	0.8261	6.7992	1.3598	5.4394
9	62.6526	0.8882	7.3103	1.4621	5.8482
10	69.6140	0.9374	7.7152	1.5430	6.1722
11	76.5754	0.9727	8.0058	1.6012	6.4046
12	83.5368	0.9936	8.1778	1.6356	6.5422
13	90.4982	1.0000	8.2305	1.6461	6.5844

表22 霧島丸接岸時の実測値と理論値の比較

接岸回数	要項	船首方向ドルフィン		船尾方向ドルフィン	
		実測値 a	計算値 b (a/b%)	実測値 c	計算値 d (c/d%)
一	U cm/sec	4.35 (實測 $S_0 = 5.59 \text{ sec}$)	94.11	1.11 (實測 $S_0 = 8.92 \text{ sec}$)	73.1
	S_d cm	1.95	20.72	80	109.44
	S_f cm	4.8	5.18	92.66	103.83
	S_0 cm	2.43	2.90	93.82	91.4
	t_0 sec	9.6	10.43	92.04	95
二	U cm/sec	1.15 (實測 $S_0 = 5.91 \text{ sec}$)	115	1.15 (實測 $S_0 = 8.27 \text{ sec}$)	76.4
	S_d cm	5.0	5.49	91.24	7.8
	S_f cm	1.8	1.7	131.39	1.8
	S_0 cm	6.8	6.85	99.27	9.5
	t_0 sec	9.5	10.43	91.08	10.9
三	U cm/sec	1.15 (實測 $S_0 = 4.09 \text{ sec}$)	115	1.82 (實測 $S_0 = 7.64 \text{ sec}$)	118
	S_d cm	3.0	5.48	5.474	3.1
	S_f cm	1.7	1.7	124.09	3.00
	S_0 cm	4.7	6.85	68.61	13.9
	t_0 sec	1.03	10.43	98.75	11.0

$$t_0 \doteq 10 < 12.93 \text{ [sec]}$$

$$\therefore n = \sqrt{k} \text{ として}$$

$$\sqrt{k} = 6.9614 \text{ [deg}\cdot\text{sec}^{-1}]$$

$$S = 8.2305 \sin 6.9614 t$$

この式による計算値が表21である。

また、この計算値と実測値を比較したものを表22に示す。

以上によって、この状態では、ドルフィン構造が非常に小さいバネ常数をもっている特殊な場合といえることができる。

7. 結 論

以上室内実験ならびに実船による測定値によって、判別式 $\alpha^2 - 4k > 0$ の場合について検討した結果をまとめてみると、

1) $\alpha^2 - 4k > 0$ の場合は、船が接岸してから止まるまでのドルフィンの撓みが大きく、したがって現象時間も長いので、船の運動に伴う水の流れの減衰がおこる。

2) その減衰の形態は、初期条件および環境によってことなる。大体余弦の4分の1周期の形でも近似させる。

3) その $\cos nt$ の n が \sqrt{k} に等しいときに、付加質量がゼロに近い状態となる。

4) $n < \sqrt{k}$ のときは、水圧は船を加速する方向に働き、

5) $n > \sqrt{k}$ のときは、水圧は船を減速する方向に働く。

6) この特殊な場合には、静水中を船が移動しはじめた状態と等しく、水の抵抗が働く状態のときもあろう。

これらの n および抵抗係数 C_0 は、状況によってことなるから、より多くの実船実験、実測によって求めなければならない。

したがって係船施設の設計に当っては、 n に期待せず、 $f(t)=1$ の状態すなわち船が定速状態で接近し、接岸現象時間中は、船の運動に伴う水の流速の減衰はないものとして設計し、安全を期するのが妥当であると思われる。

8. 接 岸 力 図

この章においては、第2章に述べた運動方程式の解についての区分を判別し易いように図示し、さらにフェンダーの、もっとも一般的な荷重特性

$$F = Ks$$

$$F = K_0 = \text{const}$$

の場合における接岸力、および現象時間を容易に求める図表を掲げる。

これらの図表は、既報の運研報告第11巻第10号、船研報告第1巻第1号の報文および本報文の(7)式などによるものである。

8. 1 接岸力の求め方

まず接岸水圧係数 α を計算しておく。概略の値は、Fig. 1 において船巾 b ときつ水 h との比 n と横軸における船巾との交点から縦軸に α がえられる。

8. 1. 1 $F = Ks$ の場合

① k の求め方 Fig. 2 において、 K と偏心距離 r との交点から、縦軸について βK 、さらに βK と屯数を示す斜線との交点から、左方横軸に k が求まる。

ここに $\beta = 1 + mr^2/I_z$ 、 $I_z = ml^2/12$ として計算したものである。

この k は、10,000 t 単位の値であるから、1,000 t の船の場合は、1.0 の斜線でもとめた k の値の10倍となり、100,000 t の船の場合は、10分の1が求める k である。

② 運動方程式の解の区分 Fig. 3 において、 α と k の交点が、

判別線の上のA区域内にあるときは

$$\alpha^2 - 4k < 0$$

判別線の下にB区域内にあるときは

$$\alpha^2 - 4k > 0$$

であることを知る。

③ A区域内にある場合の接岸力 F の求め方

Fig. 4 において、 k と α の交点の N の値を求め、 α と左の αS_0 面に移した N との交点から横軸に S_0 が求められる。

S_0 が求まれば接岸力 F は、

$$F = S_0 \cdot v_0 \cdot K$$

で求められる。

現象時間 t_0 は、Fig. 5 において、 α と N の交点で求められる。

④ B区域内にある場合 この区域は、 $F < mav_0$ の区域で、船の周囲の水の状態によって、いろいろの場合が生ずる。衝撃的現象は小さい。定速の状態では接岸すると撓みが非常に大きいので、構造物の強さに信頼性があるとき以外は、フェンダーの前で一度船を止め、おもむろに接岸するなど、操

船は注意して行なう必要がある。

8.1.2 $F=K_0=\text{const}$ の場合

この場合は、フェンダーの構造上、一定反力 K_0 が働く撓みの限界がある筈である。その範囲内で船を停止させなければならない。

① k_0 の求め方 Fig. 2 において、 K を K_0 と読みかえて、 K_0 と r 直線との交点で、 βK を縦軸によって読み、排水トン数を示す直線とその βK の交点から、下の横軸において、 k を求め、この k を v_0 で割って k_0 を求める。その k_0 を用いて、 α/k_0 を計算しておく。

② $k_0 > \alpha$ の場合 Fig. 6 によって、 α と α/k_0 直線との交点から、横軸に S_0 を見出す。

撓みの最大値 $s_0 = S_0 \cdot v_0$

Fig. 7 によって、 α と α/k_0 との交点の横座標によって、 t_0 が求まる。

③ $k_0 < \alpha$ の場合

$s_0 = v_0/k_0$

で、撓みの最大値が求められ、便宜的仮想質量は $2m$ の形となっている。

8.1.3 接岸圧力 f

F が判れば、フェンダーの撓みに対応する接触面の拡大された面積を A とすれば、

$$f = F/A$$

で求められる。

8.2 計算例

1964年3月17日の岩国港における東光丸接岸の例¹⁾について図表を用いて計算してみよう。

船の長さ $l = 213 \text{ m}$

船 巾 $b = 30 \text{ m}$

きつ水 $h = 11.47 \text{ m}$

排水量 $W = 61,360 \text{ ton}$

フェンダーのバネ常数 $K \doteq 600 \text{ t/m}$

接岸速度 $v_0 = 6 \text{ cm/sec}$

偏心距離 $r = 41.5 \text{ m}$

が与えられている。

$$n = b/h = 30/11.47$$

$$\doteq 2.6$$

Fig. 1 によって、 $\alpha = 0.43 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$ をえる。 $r/l = 41.5/213 \doteq 1/5$ であるから、Fig. 2 によって、 $W/10,000$ の3の線より少し小さく、 $k=0.3$ を読み、

$$\frac{60,000}{30,000} = 2$$

であるから、 k は大体、

$$k = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ [sec}^{-2}\text{]}$$

をうる。

Fig. 3 によって、 α と k の交点は、A区域内にあることを知る。

Fig. 4 によって、 $k=0.15$ と $\alpha=0.43$ との交点で、 $N=0.8$ を知り、それを左の αS_0 面にうつして、 $S_0=3.5$ をうる。ゆえに、

$$\text{接岸力 } F = 3.5 \times 600 \times 0.06 = 126 \text{ [ton]}$$

また Fig. 5 によって、 $\alpha=0.43$ と $N=0.8$ との交点により、

$$\text{現象時間 } t_0 = 6.6 \text{ [sec]}$$

をうる。

これに対する実測値²⁾ は、 $S_0=3.88 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$ 、 $F=139 \text{ [ton]}$ 、 $t_0=6.3 \text{ [sec]}$ である。

参 考 文 献

- 1) 若 桑 訥：船舶の接岸力について
運輸技術研究所報告 第11巻第10号
- 2) 若 桑 訥：船舶の接岸力について（偏心接岸の場合）
船舶の接岸力について（防衛工のバネ常数との関係）
船舶技術研究所報告 第1巻第1号
- 3) 若 桑 訥：スーパータンカー接岸実験
船舶技術研究所報告 第1巻第6号

α の計算図表

b : 船中 (m), h : きつ水 (m)
n : b/h

$\alpha = 3.8/\sqrt{nb}$ による計算値

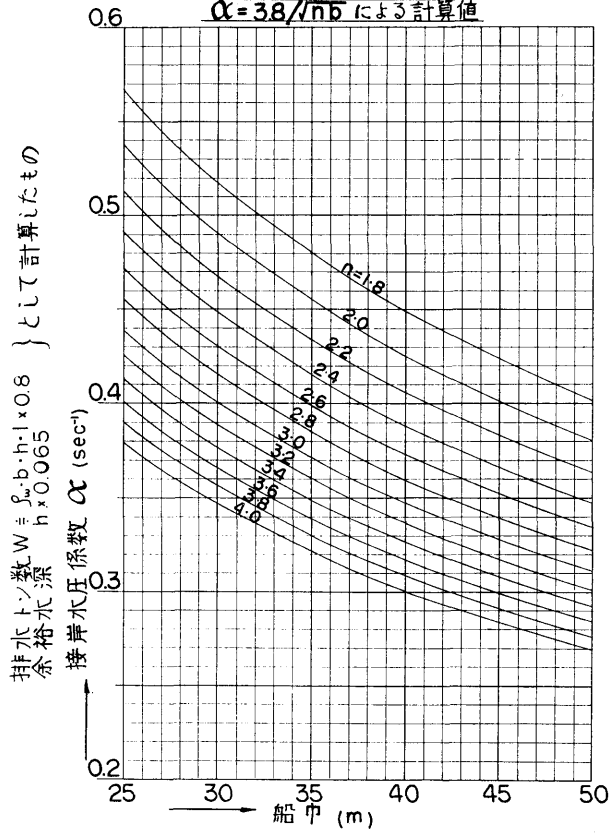


Fig. 1

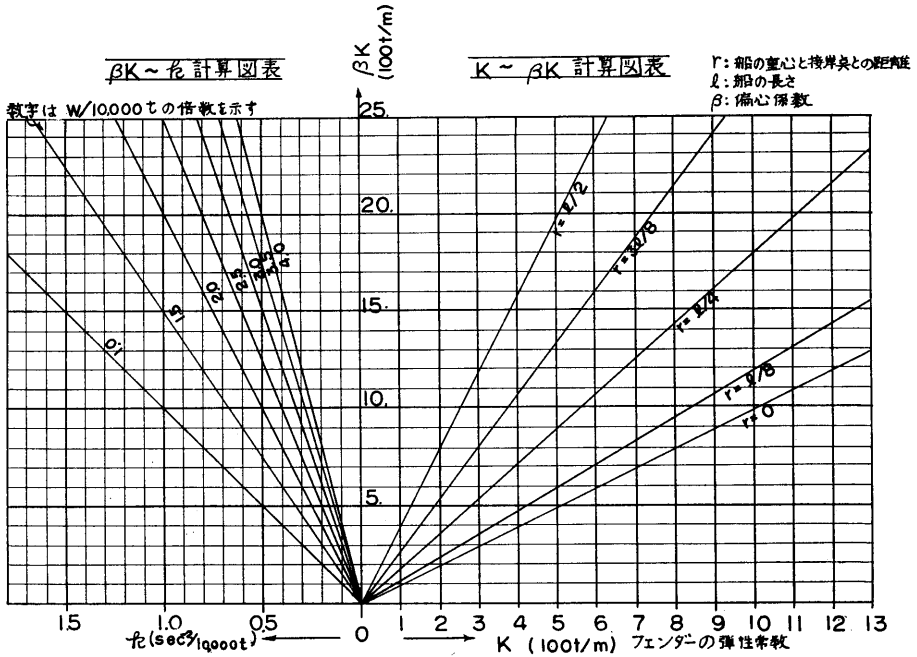


Fig. 2

A, B 区域判別図
 (A: $\alpha^2 - 4\beta < 0$ の区域)
 (B: $\alpha^2 - 4\beta > 0$ の区域)

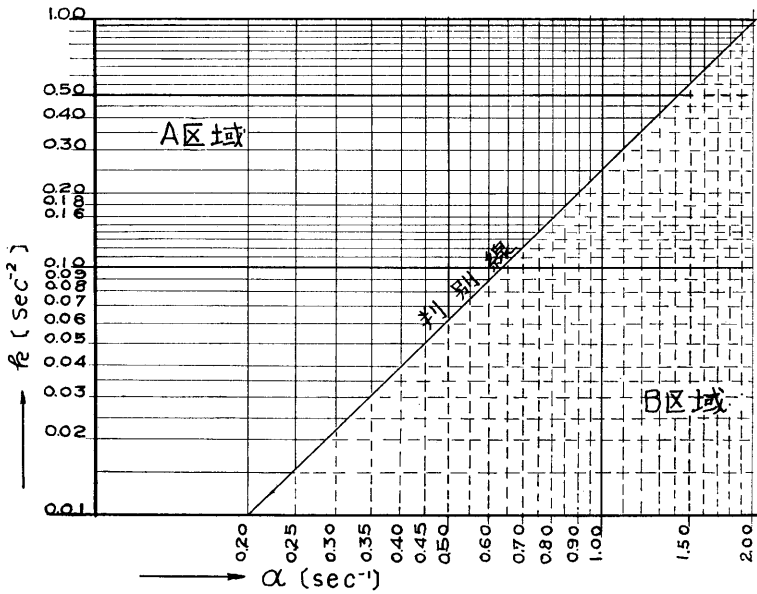


Fig. 3

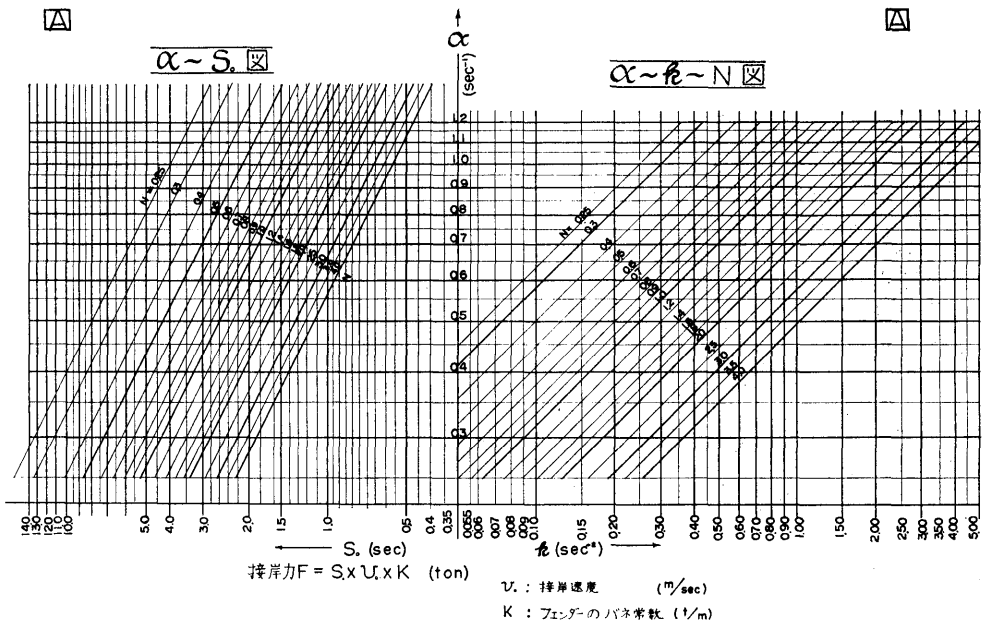


Fig. 4

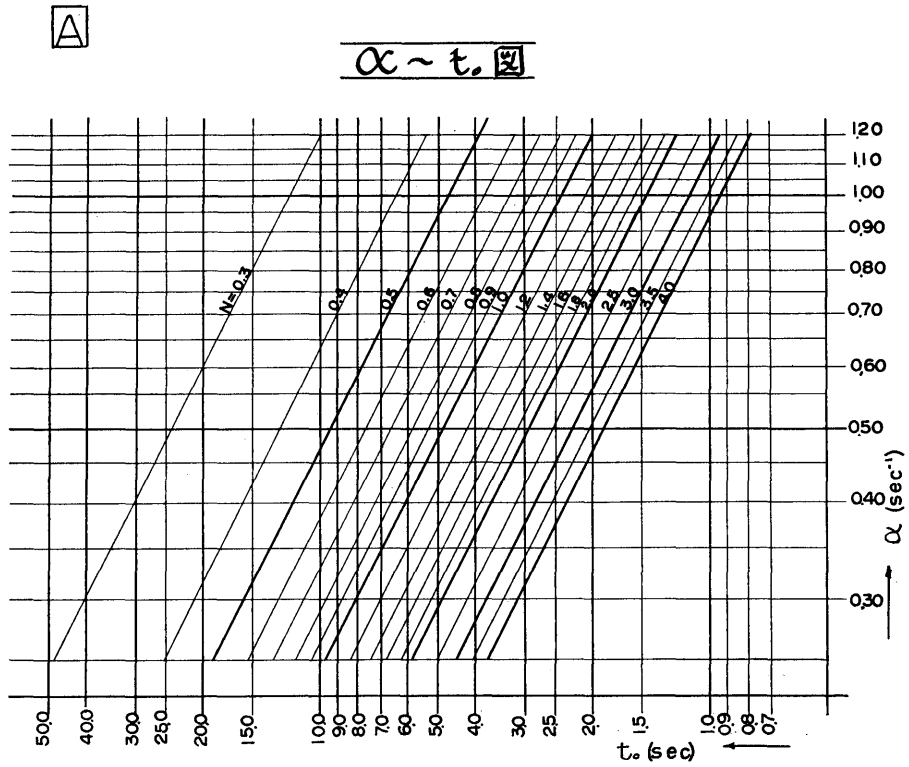


Fig. 5

$\alpha \sim k_0 \sim S_0$ 図 $\left. \begin{matrix} K_0 = \text{const} \\ k_0 > \alpha \end{matrix} \right\} \text{の場合}$

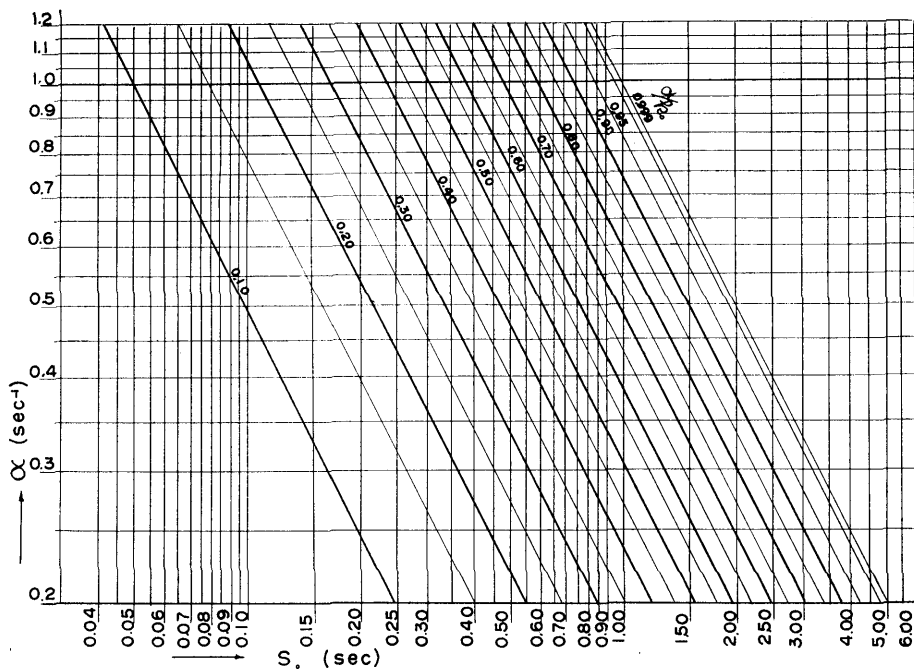


Fig. 6

$K_0 = \text{const}$

$\alpha \sim k_0 \sim t_0$ 図

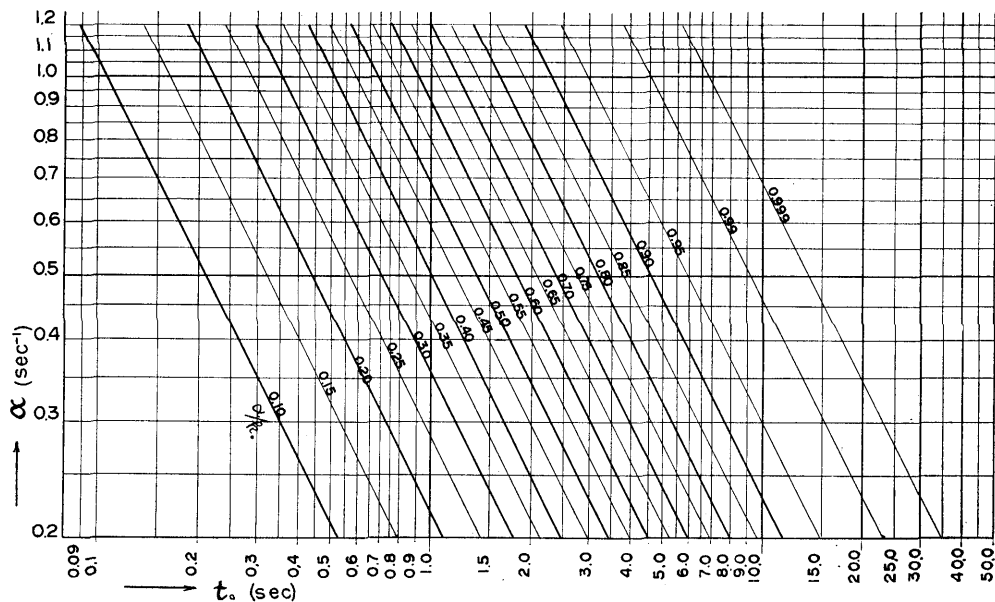


Fig. 7